

Miljømæssigt bæredygtig luftfart – vækst kontra miljø

Stefan Krüger Nielsen, Cand. Techn. Soc., Ph.D.

Konsulent, ECOtransport, Ibsgården 72a, 4000 Roskilde

Paper til konferencen “Trafikdage 2002”, Aalborg Universitet, Danmark.

Abstract

Dette paper præsenterer resultaterne af ph.d.-afhandlingen ”Air travel, life style, energy use and environmental impact” indleveret ved Danmarks Tekniske Universitet i september 2001 [Nielsen 2001]. Projektet undersøger de fremtidige muligheder for at reducere væksten i emissionen af drivhusgasser fra kommerciel civil luftfart. Afhandlingen favner forholdsvis bredt, idet den ¹⁾kvantificerer energiforbruget til passager- og fragttransport med fly, ²⁾opstiller en kvalitativ model over hvilke faktorer der driver luftfartens vækst, ³⁾diskuterer hvilken rolle luftfarten kan komme til at spille i et fremtidigt miljømæssigt bæredygtigt energisystem og ⁴⁾kommer med forslag til hvad der kan gøres for at begrænse væksten i flytrafikens miljøbelastning i fremtiden.

Baggrund: Luftfartens udledning af drivhusgasser – et ”overset” problem

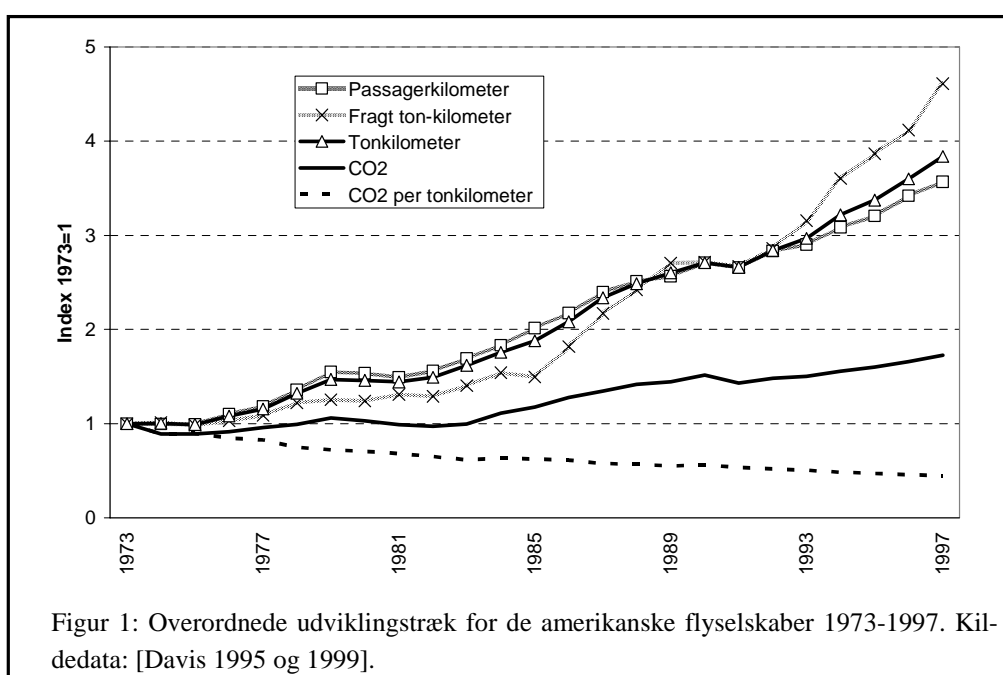
Luftfarten står på globalt plan for ca. 12% af transportsektorens CO₂-udledning, men flysektorens samlede bidrag til drivhuseffekten er muligvis 2-4 gange så høj som CO₂-bidraget alene, fordi udledningen af NO_x og vanddamp fra flymotorer i de højere luftlag også bidrager til drivhuseffekten [IPCC 1999]. Den internationale luftfart er ikke inkluderet i den internationale klimaafteale som blev indgået i Kyoto, og kan således indtil videre betragtes som et ”overset” miljøproblem når det gælder bidraget til globale klimaændringer. Spørgsmålet er, hvilken rolle luftfarten kan og bør spille i fremtidens transportsystem. Herunder er det specielt vigtigt om og hvor meget luftfarten vil vokse i fremtiden og i hvilken grad udviklingen i flyteknologien vil bidrage til at reducere flyflådens miljøbelastning.

Problem: ”Tekniske fix” opvejer ikke flytrafikkens vækst

Den globale flytrafik er vokset kraftigt siden den civile flyvning tog fart efter introduktionen af moderne jetfly i de tidlige 1960'ere. Mellem 1960 og 1998 steg passagertrafikken med en faktor 22. Selvom den årlige vækst i flytransportarbejdet faldt gradvist gennem de sidste fire årtier fra over 20% i 1960'erne til omkring 5% i 1990'erne er det grundlæggende problem, i en

miljømæssig sammenhæng, at forbedringerne i flyteknologien og flyenes belægningsfaktor ikke har kunnet opveje væksten i flytransportarbejdet.

Som det ses af figur 1 voksede antallet af tonkilometer¹ transporteret af amerikanske flyselskaber med en faktor 3,8 mellem 1973 og 1997, mens energiintensiteten² per tonkilometer blev reduceret med 55%, således at det samlede brændstofforbrug steg med en faktor 1,7. Før terrorangrebet på World Trade Center i september 2001 forventede FNs internationale klimapanel at den civile luftfart og det relaterede brændstofforbrug ville vokse med henholdsvis 5% og 3% om året indtil 2015 [IPCC 1999]. I månederne efter terrorangrebet er flytrafikken faldet, særligt på det nordamerikanske marked, og det er på nuværende tidspunkt et åbent spørgsmål om og hvor hurtigt den årlige vækst i flytrafikken eventuelt vil vende tilbage til 1990'ernes niveau på 5%.



Energiintensitet ved transport af passagerer og fragt med fly

Der er ikke lavet særlig mange analyser af flyenes og flyselskabernes energiforbrug per passagerkilometer³, per fragt-tonkilometer⁴ og per tonkilometer (passagerer og fragt sammenlagt) de transporterer. Til dette studie er der derfor lavet en dataindsamling for disse parametre som repræsenterer 11 europæiske, 47 amerikanske og 3 asiatiske flyselskaber. Undersøgelsen viser, at der er betydelige forskelle mellem energiintensiteten af forskellige flytyper, se figur 2.

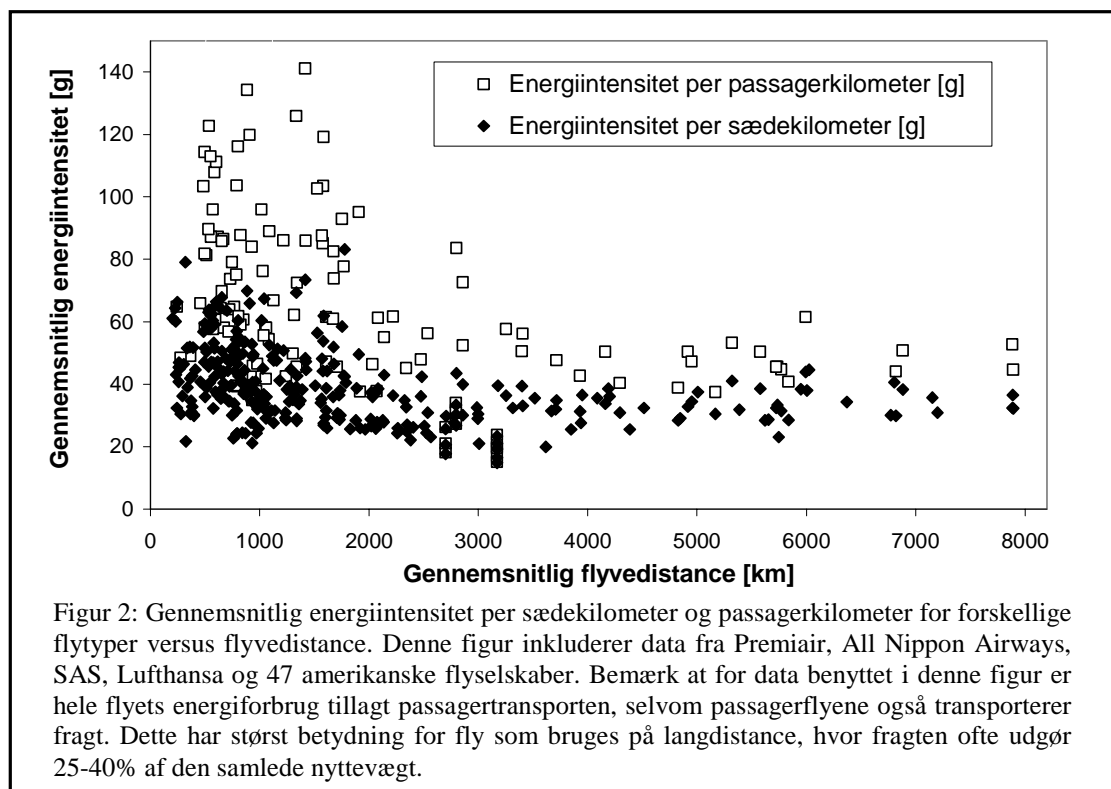
¹ En tonkilometer er et udtryk for transport af et ton passagerer og/eller fragt over en kilometer. For passagerfly som transporterer både passagerer og fragt er vægten af en passager med bagage her sat til 100 kg.

² Her benyttes termen energiintensitet som udtryk for den mængde energi der benyttes til at transportere en kapacitetsenhed (det være sig et sæde eller et rumfang der er tilgængeligt til passagerer eller fragt) eller en vis mængde passagerer og/eller fragt over en given afstand.

³ En passagerkilometer er et udtryk for transport af en passager over en kilometer.

⁴ En fragt-tonkilometer er et udtryk for transport af et ton fragt over en kilometer.

Gamle fly er generelt mere energiintensive end nyere modeller ligesom fly der bruges på korte distancer generelt er mere energiintensive end fly som bruges på mellem- og langdistance. For passagerselskaberne svinger det gennemsnitlige energiforbrug mellem 26g og 100g jetbrændstof per passagerkilometer, mens forbruget for de enkelte flytyper ligger mellem 20g og 140g, dog overgået af concorden som flyver ved overlydshastighed og bruger over 300g jetbrændstof per passagerkilometer. En tilsvarende undersøgelse af fragtselskaber og deres benyttede flytyper viser at det gennemsnitlige forbrug af jetbrændstof per fragt-tonkilometer varierer mellem 210g og 237g for de enkelte selskaber mens forbruget for de enkelte flytyper svinger mellem 158g-721g. De flyselskaber som bruger relativt nye fly og flyver over relativt lange distancer med høje belægningsfaktorer er de mest energieffektive mens de regionale flyselskaber som generelt bruger små fly og opererer på relativt korte ruter med lave belægningsfaktorer er de mest energiintensive. Europæiske charterselskaber som bruger fly med høj sædekapaцитet og har meget høj passagerbelægning og som samtidig kun transporterer relativt ubetydelige mængder af fragt er de mest energieffektive passager transportører i flyindustrien.



Studiet viser desuden, at der er stor forskel på hvorledes pasagerselskaberne rapporterer energiforbrugsdata. En af de største forskelle i flyselskabernes rapportering er relateret til opgørelsen af energiforbruget per passagerkilometer og per fragt-tonkilometer. Problemet opstår fordi de fleste passagerfly transporterer både passagerer og fragt. På korte distancer udgør fragts vægt kun en beskedne andel af passagerflyenes samlede nyttelast, mens fragt på lange distancer ofte udgør 25-40% af den samlede nyttelvægt. Nogle af selskaberne vælger at tillægge hele brændstofforbruget til passagertransport i deres opgørelser mens andre selskaber fordeler brændstofforbruget for de enkelte flytyper mellem passagerer og fragt i forhold til deres vægt, og til dette bruges forskellige metoder. Nogle flyselskaber fordeler brændstoffet ligeligt mel-

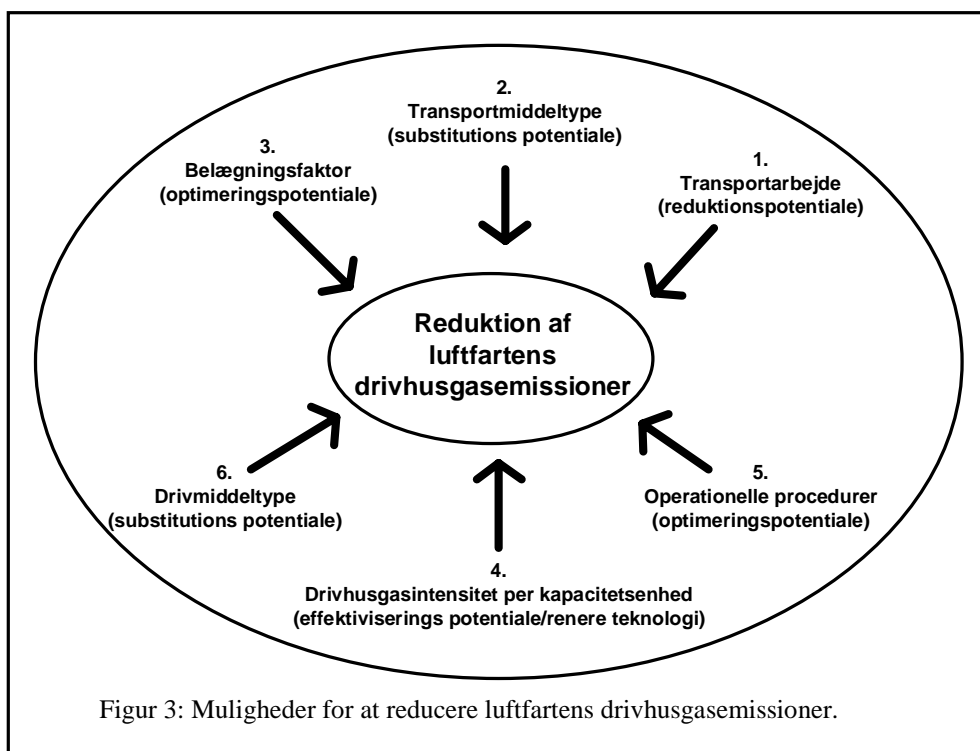
lem passagerer (inklusive vægten af bagage) og fragt på basis af disses vægt, mens andre tillægger hver passager-vægtenhed mere brændstof end en tilsvarende vægtenhed fragt for at kompensere for at passagerernes sæder, mellemgange, forplejning o.s.v. fylder og vejer relativt meget i flyene. På denne vis tillægges en vægtenhed fragt i passagerfly omtrent det samme brændstofforbrug som en tilsvarende mængde fragt som transporteres med rene fragtfly.

Drivhusbidrag fra en enkelt flyvetur

En langdistance flyvetur kan bidrage med en stor andel af den rejsendes totale årlige emission af drivhusgasser. For eksempel kan en rejse retur mellem København og New York (12400 kilometer) i et moderne passagerfly (eksempelvis et B767-300ER), føre til udledning af 1,6 tons CO₂ (baseret på en beregning hvor hele flyets CO₂ emission tildeles passagertransporten). Til sammenligning kan en gennemsnitlig dansk bil køre ca. 9000 kilometer før den har udledt 1,6 tons CO₂. De 1,6 tons kan endvidere sammenlignes med den gennemsnitlige udledning af CO₂ per person i Danmark som for øjeblikket ligger omkring de 11 tons, heraf de 3 tons til transportformål. Ydermere kan det tages med i beregningen, at flys emissioner i høje højder antages at bidrage 2-4 gange mere til drivhuseffekten end emissioner ved jordens overflade. Hermed overstiger drivhusgasbidraget (3,2-6,4 tons CO₂-ekvivalent) fra rejsen til New York den samlede årlige udledning fra transport for en gennemsnitsdansker.

Muligheder for at reducere flytrafikkens drivhusgasemissioner

Som illustreret i figur 3 er der en række forskellige muligheder for at reducere flytrafikkens drivhusgasemissioner.



Først og fremmest vil en reduktion af transportarbejdet med fly (d.v.s. antallet af passagerkilometer, fragt-tonkilometer eller tonkilometer) reducere antallet af flyafgange, og dermed

emissionen af drivhusgasser (under forudsætning af at belægningsfaktoren i flyene holdes konstant). Andre muligheder er at substituere brugen af fly med alternative, og mindre drivhusgasintensive transportformer, såsom tog, busser eller biler og at forøge flyenes belægningsfaktor eller at substituere fossilt jetbrændstof med mindre drivhusgasintensive brændstoffer, som eventuelt kan være baseret på vedvarende energikilder. Ligeledes kan man reducere emissionerne fra hver enkelt flyvetur ved at optimere flyenes operationelle procedurer, eksempelvis ved at flyve mere direkte ruter og ved at undgå for meget ventetid i og over lufthavnene. Endelig kan man reducere energiintensiteten eller drivhusgasintensiteten per kapacitetsenhed, dvs. emissionen per sædekilometer og per tilgængelig fragtkapacitet. Eksempler på dette kan være at benytte mere energieffektive motortyper, at sætte flere sæder i flyene eller at benytte større fly. Det skal understreges, at de i figur 3 illustrerede teoretiske muligheder for at reducere luftfartens emission af drivhusgasser i høj grad er afhængige af hinanden, og til en vis grad modsatrettede, d.v.s. at når man forbedrer en parameter kan det forværre andre parametre.

”Tekniske fix” og ”tilbageslagseffekten” af udviklingen af større flytyper

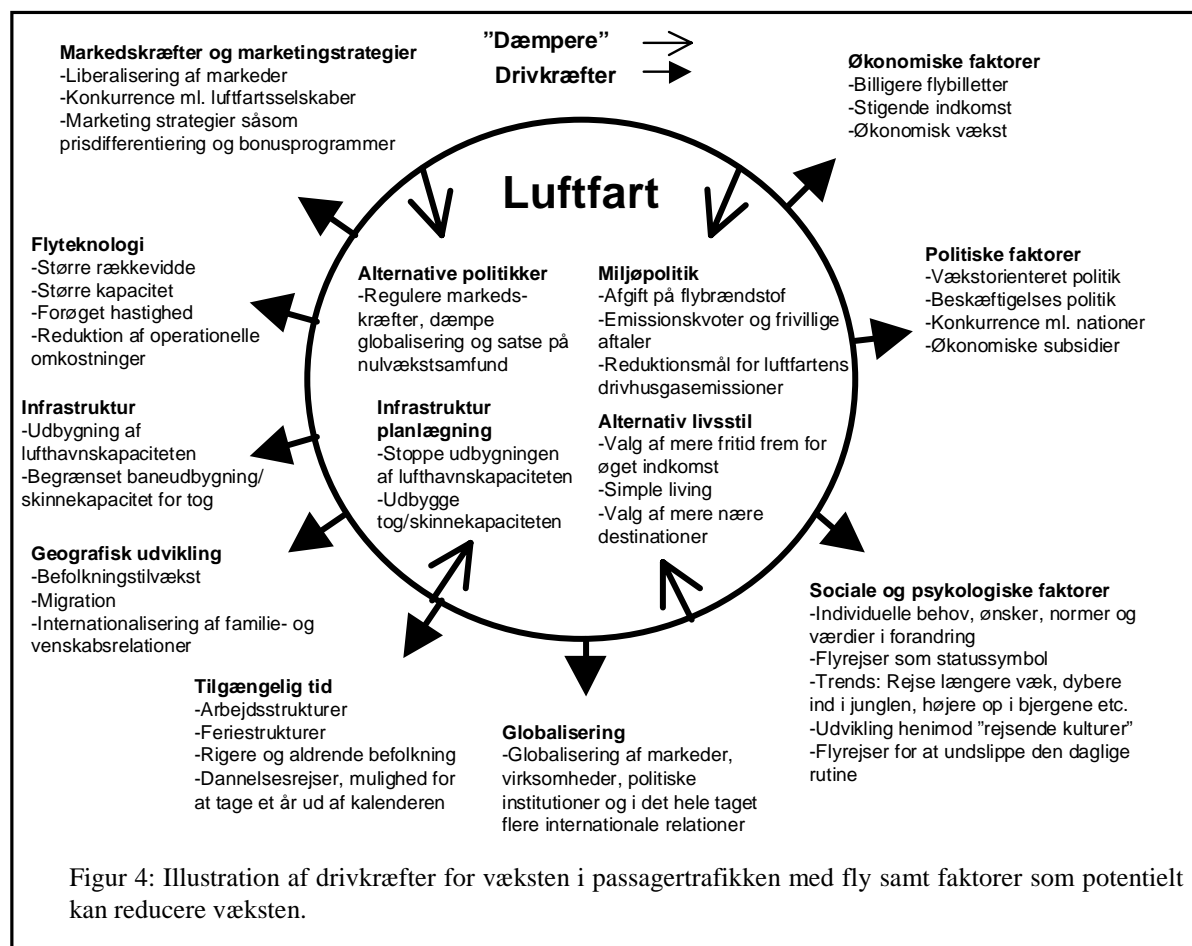
Et problem knyttet til ”tekniske fix” er at disse har det med at bidrage yderligere til væksten i flytransportarbejdet. Dette kaldes også ”tilbageslags” (rebound) effekten. Et oplagt eksempel på dette er at introduktionen af større flytyper medfører større kapacitet på hver flyafgang og dermed potentielt enten en reduktion af belægningsfaktoren eller en forøgelse af transportarbejdet. Eksempelvis satser den europæiske flyproducent Airbus på at introducere en ultra-stor jumbojet – den såkaldte model A380 - med meget stor kapacitet. Dette fly vil bruge mindre energi per sædekilometer end de største nuværende passagerfly fra amerikanske Boeing, men flyet vil stadig bruge mere brændstof per flykilometer. Airbus’ jumbojet vil øge luftfartsselskabernes incitament til at sælge flere passagerbilletter eller til at medtage mere fragt til discountpris, ofte under selskabernes gennemsnitlige produktionsomkostninger. Denne markedsstrategi muliggøres blandt andet af prisfastsættelsen for erhvervsrejsende som er villige til at betale langt højere priser end de fritidsrejsende, og dette mønster understøttes af diverse bonusprogrammer, som er designet til at fastholde de erhvervsrejsende som kunder hos de enkelte selskaber ved at give dem mulighed for at opspare points som eksempelvis kan veksles til private fritidsrejser. Indførelsen af større flytyper vil altså kunne fungere som en generator af yderligere vækst i flytransportarbejdet.

Jagten på højere hastighed og ”tilbageslagseffekten”

Mens Airbus satser på at introducere en ultra-stor jumbojet med plads til op til 1000 passagerer, går Boeing den modsatte vej, og satser på at introducere deres såkaldte ”sonic cruiser”, som skal have mindre kapacitet, men til gengæld kunne flyve ved højere hastighed og højde, og dermed også forurene mere per sæde end jumbojetten fra Airbus. Ligeledes er der for øjeblikket en udvikling i gang hvor mange luftfartsselskaber foretrækker de hurtigere jetfly frem for de langsommere men mere energieffektive propelfly til brug på regionale distancer. Jagten på højere hastighed er her en forhindring for at reducere luftfartens drivhusgasintensitet mest muligt.

Determinanter for flytrafikkens vækst

Væksten i den luftbårne passagertransport igennem de seneste årtier er blevet genereret af sociale, teknologiske, politiske og økonomiske forandringer. Figur 4 illustrerer en kvalitativ model til beskrivelse af nogle af de vigtigste determinanter for væksten i passagertrafik med fly. Modellen illustrerer såvel drivkræfter som får transportarbejdet til at stige som faktorer som potentielt kan tænkes at dæmpe væksten. Cirklen i figuren repræsenterer størrelsen af transportarbejdet på et givet tidspunkt, og pilene som peger udad fra cirklen illustrerer drivkræfter mens pilene som peger mod cirkelens centrum repræsenterer dæmpende faktorer. Mange af de faktorer som i øjeblikket synes at fungere som drivkræfter kan potentielt vendes så der i stedet bliver tale om faktorer som dæmper væksten. Det er ikke intentionen her at prøve at kvantificere hver enkelt faktor i modellen for at finde ud af hvilke faktorer der har størst betydning, men nærmere at forsøge at skabe et overblik over, hvilke faktorer det kan være relevant at fokusere på ved udformningen af forskellige politikker rettet mod at dæmpe væksten i flytrafikken.



Debatten om mulige virkemidler til regulering af luftfartens drivhusgasemissioner

Miljøreguleringen på området har hidtil primært været rettet mod at reducere flyenes støj og de sundhedsskadelige emissioner i lufthavnene, og er således endnu ikke direkte rettet mod at

reducere luftfartssektorens drivhusgas emissioner. ICAO, FNs organisation for civil luftfart, blevet udset til at skulle fremkomme med forslag til hvorledes luftfartens bidrag til de globale klimaforandringer kan reduceres [CAEP 2001]. En række europæiske miljøorganisationer har gennem de senere år lobbyet kraftigt for at få reguleret flytrafikkens emissioner af drivhusgasser. Miljøorganisationernes forslag går primært på at få fastsat og vedtaget en målsætning for flysektorens samlede maksimale drivhusgasudledning, at få gennemført en global afgift på flybrændstof samt at få fastsat normer for flyenes specifikke drivhusgasemissioner i store højder [T&E/ICSA 2001]. ICAO har dog hidtil ikke kunnet blive enige om vedtagelsen af nogle af disse virkemidler. I stedet peger ICAO på muligheden for på kortere sigt at forbedre energieffektiviteten ved at optimere flytrafikkens operationelle procedurer og ved at indgå frivillige aftaler med flyproducenterne om fremtidige reduktioner af energiintensiteten. Sådanne frivillige aftaler kan så eksempelvis indfries ved at flyselskaberne øger belægningen og erstatter gamle flytyper med nyere modeller. Da disse ”tekniske fix” ikke forventes at kunne følge med væksten i flytrafikken er ICAO’s miljøkomite CAEP (Committee on Aviation Environmental Protection) i gang med at udarbejde et forslag til, hvorledes luftfartsindustrien på længere sigt kan bidrage til reduktion af CO₂ udledningen [CAEP 2001] [ICAO 2001]. CAEP foreslår, at der skal oprettes et handelssystem for CO₂ kvoter hvor flysektoren tænkes at kunne købe udledningskvoter i andre energiforbrugende sektorer, som forventes at kunne reducere emissionerne med relativt lave omkostninger sammenlignet med luftfartsselskaberne [Wickrama 2001]. Baggrunden er, at flysektoren vokser så voldsomt, at de tekniske fix ikke kan opveje væksten i drivhusgasemissionerne og at det er dyrere og teknisk vanskeligt for luftfarten at omstille til vedvarende energiforsyning end for de andre sektorer.

Det er dog ikke sandsynligt, at noget enkeltstående virkemiddel, såsom at indføre en brændstofafgift eller handel med CO₂ kvoter, vil kunne føre til en stabilisering af udledningen af drivhusgasser. For eksempel indikerer en række studier af den sandsynlige miljømæssige virkning af en brændstofafgift, at op til en tidobling af den nuværende brændstofpris måske er nødvendig for at stabilisere CO₂-udledningen fra civil luftfart. Denne beregning er dog baseret på en situation hvor flytrafikken ventes at fortsætte med at vokse med 5% om året i et ”business as usual” scenario [Bleijenberg 1998] [Wickrama 2001]. Et sådant afgiftsniveau synes ikke realistisk gennemførligt i den nuværende politiske kontekst. I stedet synes det nødvendigt at satse på at kombinere en hel række forskellige virkemidler, for at opnå en miljømæssigt bæredygtig udvikling i den kommercielle civile luftfart. Her kan der eksempelvis tages udgangspunkt i at prøve at modvirke en række af de drivkræfter for flytrafikkens vækst som er skitseret i figur 4, eksempelvis ved at reducere det offentlige økonomiske subsidier til flyproducenter, lufthavne og luftfartsselskaber, ved at ændre luftfartsselskabernes bonusprogrammer eller ved at satse mere på udbygningen af jernbanenettet frem for lufthavnskapaciteten. I et videre perspektiv kunne man eksempelvis også satse på at promovere alternative livsstile med mindre fokus på økonomisk vækst, globalisering o.s.v.

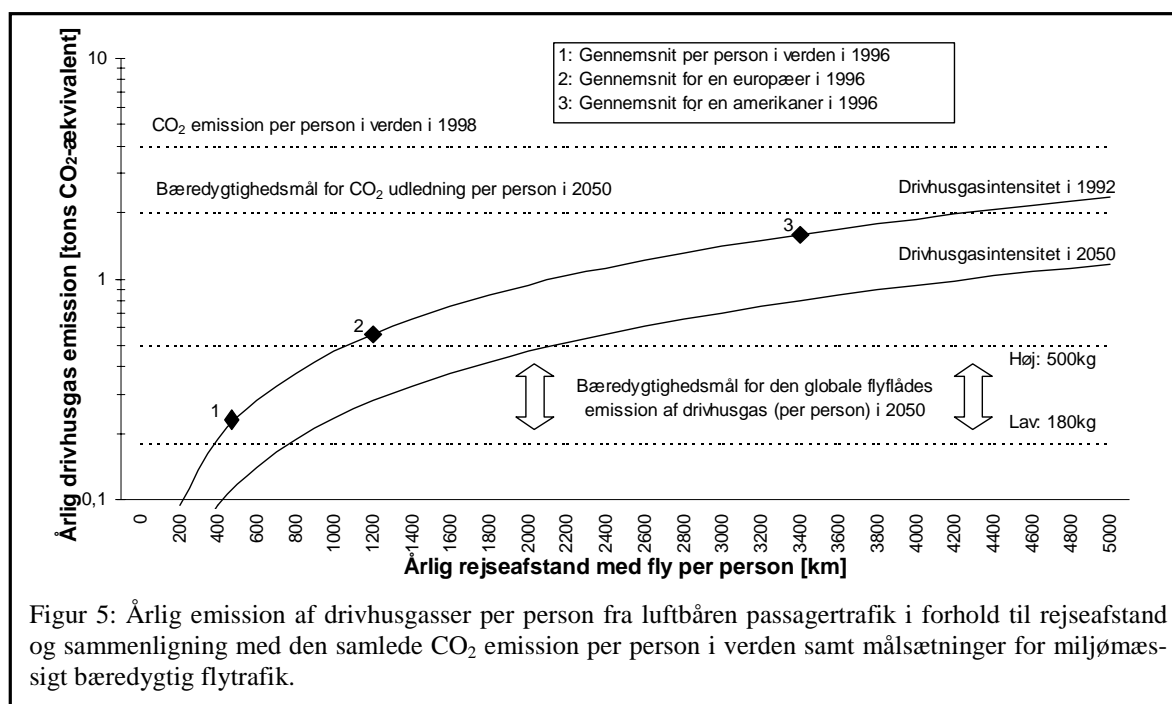
Diskussion af luftfartens rolle i et fremtidigt miljømæssigt bæredygtigt energisystem

På meget langt sigt kan det blive nødvendigt at reducere det globale udslip af menneskeskabte drivhusgasser relateret til afbrændingen af fossile brændsler drastisk for at undgå utilsigtede klimaændringer. Der er dog endnu ikke opnået videnskabelig eller politisk konsensus om et langsigtet reduktionsmål, ligesom der er stor usikkerhed om den politiske opbakning bag de relativt beskedne reduktionsmålsætninger som foreløbig er udstukket for de internationale klimaforhandlinger i den såkaldte Kyoto protokol.

I dette eksempel er det valgt at tage udgangspunkt i en langsigtet reduktionsmålsætning for den globale udledning af CO₂ fra afbrændingen af fossile brændsler på 30% i 2050 sammenlignet med 1998. Samtidig antages det, at verdens befolkning vil vokse fra 6 til 9 milliarder, og at retten til at udlede drivhusgasser fordeles ligeligt på en per capita basis i et miljømæssigt bæredygtigt samfund. På denne baggrund skal CO₂-udledningen per person reduceres fra de nuværende 4 tons til 2 tons. I de fleste industrialiserede lande er CO₂-udledningen i dag langt højere end de 4 tons, og mange af disse lande skal derfor reducere CO₂-udledningen med op mod 80-90%. Dette reduktionsmål er baseret på det mest drastiske reduktions scenario blandt de beskrevne scenarier i FN's klimapanel (IPCCs) anden rapportserie, og er rettet mod at stabilisere koncentrationen af CO₂ i atmosfæren på 450 ppmv (parts per million by volume) i 2075. Til sammenligning lå koncentrationen før industrialiseringen på ca. 280 ppmv og havde nået 358 ppmv i 1994 [IPCC 1996]. IPCC vurderer, at koncentrationen vil nå 500 ppmv hvis den årlige udledning fortsætter på 1994-niveauet indtil næste århundredeskifte, men pointerer samtidig at et højere koncentrationsniveau er sandsynligt i et "business as usual" scenario, da den årlige udledning generelt er stigende. Pointen her er, at det skal understreges at det valgte reduktions scenario er relativt ambitiøst. Ved valg af et mindre ambitiøst reduktionsmål vil de her beskrevne reduktionsmål for flytrafikken naturligvis også kunne slækkes.

Spørgsmålet som skal diskuteres her er hvilken rolle luftfarten kan tænkes at komme til at spille i det ovenfor beskrevne miljømæssigt bæredygtige energisystem. Figur 5 illustrerer overvejelserne. De to øverste af de punkterede vandrette linier i figuren illustrerer henholdsvis den gennemsnitlige årlige CO₂ emission per person i 1998 på 4 tons og det opstillede bæredygtigheds mål i 2050 på 2 tons. De to nederste af de punkterede vandrette linier illustrerer to forskellige forslag til bæredygtigheds mål for luftfarten på 180 kg og 500 kg drivhusgas ækvivalent. Det lave mål repræsenterer en situation hvor luftfarten tillades at udlede 9% af det samlede drivhusgas bidrag fra afbrændingen af fossile brændsler, mens det høje mål repræsenterer 25%. Disse mål er til illustration og som sådan oplæg til en politisk prioritering. Årsagen til at der er tale om drivhusgas ækvivalent er at afbrænding af et kilo jetbrændstof i stor højde bidrager mere til drivhuseffekten end eksempelvis et kilo diesel som afbrændes i en bilmotor ved jordens overflade. I dette eksempel repræsenterer 100 kg drivhusgas ækvivalent den mængde brændstof som forbruges ved udledning af 37 kg CO₂ (det centrale estimat fra IPCCs rapport om emnet, hvor det vurderes at flyenes bidrag til drivhuseffekten per kilo forbrændt jetbrændstof er 2-4 gange så højt som for diesel som forbrændes ved jordens overflade [IPCC 1999]).

Den øverste kurve i figur 5 illustrerer hvor langt man kan flyve ved den gennemsnitlige drivhusgasintensitet af den civile flyflåde i 1992, før man overskrider de forskellige målsætninger, mens den nedre kurve viser, hvor langt man kan flyve i 2050, hvis det lykkes at reducere den specifikke drivhusgasintensitet med 50% sammenlignet med 1992. Punkt 1 på den øvre kurve illustrerer, at det nuværende årlige passagertransportarbejde med fly per person i verden på ca. 500 km fører til emission af 230 kilo CO₂-ækvivalent (85 kg CO₂). Punkterne 2 og 3 illustrerer at europæere og amerikanere i gennemsnit rejser henholdsvis ca. 1200 km og 3400 km med fly årligt hvilket fører til udledningen af 560 kg og 1600 kg CO₂ ækvivalent (207 og 592 kg CO₂). Dermed udleder både europæere og amerikanere mere drivhusgas fra flyture end hvad der kan tillades indenfor det høje bæredygtighedsmål for 2050. Hvis det lykkes at reducere flyflådens drivhusgasintensitet med 50% frem til 2050 tillader det høje mål at hver person flyver ca. 2100 kilometer om året, og altså mere end en fire-dobling af det nuværende niveau per capita (ca. 500 km) eller en seksdobling af det samlede passagertransportarbejde (fordi befolkningstallet øges med 50%), mens det lave mål kun tillader 800 kilometers flyvning om året, eller mindre end en fordobling af det nuværende niveau per person. Disse målsætninger for år 2050 skal sammenlignes med, at passagertrafikken voksede med en faktor 22 i de 38 år fra 1960 til 1998, svarende til en 11-dobling af transportarbejdet per person. Før terrorangrebet på World Trade Center regnede flyindustrien med, at det samlede passagertransportarbejde med fly ville tredoble allerede i år 2020.



Som beskrevet undervejs er der stor usikkerhed forbundet med alle de antagelser der er gjort under diskussionen af, hvilken rolle luftfarten kan tænkes at komme til at spille i et miljømæssigt bæredygtigt energisystem. Dette gælder både for fastsættelsen af en overordnet målsætning for et bæredygtigt energisystem og den relaterede fordelingsnøgle mellem lande, ligesom

det gælder antagelserne om befolkningsudviklingen, udviklingen i flyflådens drivhusgasintensitet og luftfartens andel i den tilladte udledning fra det samlede energisystem.

Udvalgt litteratur.

- Bleijenberg, A.N. and R.C.N. Wit 1998, "A European environmental aviation charge – feasibility study", Centre for Energy Conservation and Environmental Technology, Delft.
- CAEP 2001, "Report of the Fifth Meeting", Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP), published by International Civil Aviation Organisation (ICAO), Montreal, DOC 9777.
- Davis, S.C. 1995 and 1999, "Transportation Energy Data Book", Editions 15 and 19, Oak Ridge National Laboratory.
- ICAO 2001, "A33-7 Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection", Resolution adopted at the 33rd Session of the ICAO Assembly, International Civil Aviation Organisation, Montreal, October 2001.
- IPCC 1996, "Climate Change 1995 – The Science of Climate Change", WG1, Cambridge University Press, UK.
- IPCC 1999, "Aviation and the global atmosphere", Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, UK.
- Nielsen, S.K. 2001, "Air travel, life-style, energy use and environmental impact", Ph.D. thesis, Department for Civil Engineering, Re-port R-021 2001, Technical University of Denmark, available as PDF file at <http://www.byg.dtu.dk>.
- T&E/ICSA 2001, "Position on market-based options", presented by European Federation for Transport and Environment (T&E) and the International Coalition for Sustainable Aviation (ICSA) at the fifth meeting of ICAO's Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP), Montreal 8 to 17 January 2001.
- Wickrama, U.K. 2001, "Review of market-based options to limit or reduce emissions – volume 2 – report on economic analysis of potential market-based options for reduction of CO₂ emissions from aviation", CAEP5 Information Paper 9, Committee on Environmental Protection (CAEP) Fifth Meeting, Montreal, January 2001.